

افق‌های کانه‌زایی، ساخت و بافت، دگرسانی و مراحل تشکیل کانه‌زایی روی - سرب (باریت) در کانسار هفت‌سواران شرقی در کمربند فلززایی ملایر - اصفهان، جنوب خمین

پوریا محمودی^۱، ابراهیم راستاد^۲، عبدالرحمان رجبی^۳ و مهران مرادپور^۴

^۱دانشجوی دکترا، بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲آمایشیار، بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳استادیار، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۴کارشناسی ارشد، گروه تحقیقاتی زمین‌شناسی نفت، بخش علوم زمین، انستیتو تحقیقاتی صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۲۸

چکیده

کانسار روی-سرب (باریت) هفت‌سواران شرقی به سن کرتاسه تحتانی، در منطقه معدنی اراک، در محیط کشتی حوضه پشت قوسی ملایر-اصفهان تشکیل شده است. کانه‌زایی در کانسار هفت‌سواران شرقی در دو افق مجزا رخ داده است. افق اول یا افق اصلی کانه‌زایی در بخش فوقانی واحد آهکی K^L لایه و افق دوم در آهک‌های نازک لایه واحد $K^{sh,m}$ تشکیل شده است. ساخت و بافت ماده معدنی جانشینی، توده‌ای و رگه-رگچه‌ای و دگرسانی‌های اصلی آن دولومیتی، سیلیسی و کلسیتی است. کانی‌های سولفیدی کانسار شامل اسفالریت، گالن، کالکوپریت، تراندریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت و کولیت و کانی‌های باطله آن کوآرتز، کلسیت و دولومیت هستند. مطالعات کاتدولومینسانس روی کانی‌های کربناته نشان‌دهنده تشکیل سه نسل دولومیت و یک نسل کلسیت است. نسل اول دولومیت‌ها همراه با کانه‌زایی ضعیف و نسل دوم، دولومیت‌های غنی از آهن هستند که کانه‌زایی مرحله اصلی را همراهی می‌کنند. دولومیت‌های تأخیری نسل سوم، همراه با کلسیت هستند و مراحل مختلف کانه‌زایی را قطع می‌کنند. حضور پیریت فرامبیدال همراه با اسفالریت و گالن در زمینه آن و باریت‌های ریز خودشکل، حاکی از رخداد کانه‌زایی در مراحل رسوب‌گذاری و ابتدای دیاژنز اولیه در نزدیک کف دریاست. در ادامه، مرحله اصلی کانه‌زایی با گسترش بافت جانشینی سولفیدهای درشت‌بلور نسل دوم به جای سولفیدهای نسل اول در زیر کف دریا مشخص می‌شود. با توجه به تشکیل کانه‌زایی هفت‌سواران شرقی در محیط زمین‌ساختی کشتی، سنگ میزبان آهک توده‌ای و رخداد کانه‌زایی به‌صورت جانشینی در زیر کف دریا در طی دیاژنز، می‌توان این کانسار را همانند کانسارهای نوع ایرلندی در نظر گرفت.

کلیدواژه‌ها: کانسار روی-سرب، جانشینی دیاژنزی، نوع ایرلندی، هفت‌سواران شرقی.

***نویسنده مسئول:** ابراهیم راستاد

E-mail: Rastad@modares.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

جغرافیایی در منطقه معدنی اراک و در بخش میانی کمربند فلززایی ملایر اصفهان واقع شده است (Momenzadeh, 1976).

مطالعاتی که بر روی کانه‌زایی‌های سرب-روی در حوضه اراک و به خصوص بر روی کانسار عمارت صورت گرفته است، نشان از اپی ژنتیک بودن این کانسار دارد و (Ehya et al., 2010) این کانسار را در رده کانسارهای تیپ MVT قرار داده‌اند. اما بعضی دیگر از محققین بر این باورند که زمان کانه‌زایی در این حوضه (Momenzadeh, 1976; Rajabi et al., 2012a) و برخی مناطق دیگر کمربند فلززایی ملایر-اصفهان (Rastad, 1981; Yarmohamadi et al., 2016)؛ موحدنیا و همکاران، ۱۳۹۱ بوری و همکاران ۱۳۹۴) می‌تواند نزدیک به زمان تشکیل سنگ میزبان، به‌صورت جانشینی و در مرحله دیاژنز بوده باشد.

تاکنون مطالعات پژوهشی دقیقی روی کانسار هفت‌سواران شرقی صورت نگرفته، از جمله مطالعات اولیه و مقدماتی که بر روی کانسار هفت‌سواران صورت گرفته، مطالعات (Momenzadeh (1973) است که در آن به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی کانه‌زایی در کانسار هفت‌سواران شرقی پرداخته است. نظر به اینکه کانسار هفت‌سواران شرقی متحمل دگرگونی شدید نشده و شدت دگرریختی در این کانسار بسیار ناچیز است؛ لذا این کانسار یکی از موارد مناسب مطالعه ارتباط بین کانه‌زایی و سنگ میزبان در کمربند ملایر-اصفهان است. در این مطالعه سعی شده است که بر اساس مشخصات زمین‌شناسی، ساخت-بافت و کانی‌شناسی این کانسار، درک بهتری از ارتباط زمانی کانه‌زایی با تشکیل سنگ میزبان و تیپ کانه‌زایی ارائه شود.

۲- مواد و روش‌ها

بررسی‌های صورت گرفته شامل مطالعات و برداشت‌های دقیق صحرایی به منظور

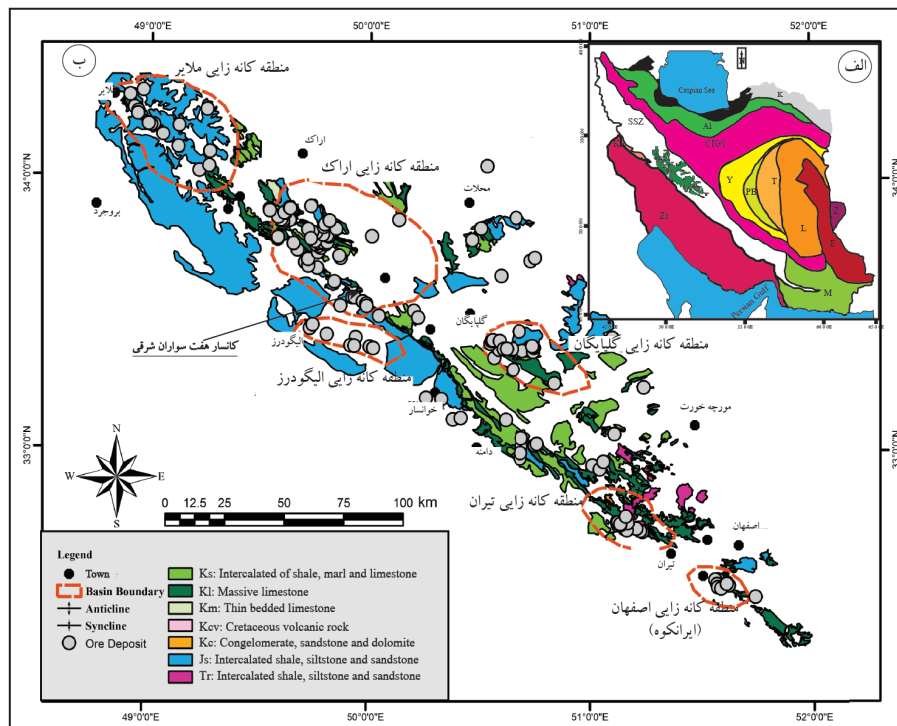
ذخایر سرب و روی با سنگ میزبان رسوبی شامل کانسارهای تیپ SEDEX، Irish MVT و سرب نوع ماسه‌سنگی هستند (Leach et al., 2005; Wilkinson, 2014). این تیپ از ذخایر در ایران نیز به علت حضور و گسترش سنگ‌های میزبان مناسب حائز اهمیت هستند. از ذخایر سدکس معرفی شده در ایران می‌توان به کانسارهای کوشک، چاه‌میر و زیرگان در کمربند فلززایی طبس- پشت بادام (Rajabi et al., 2015)، کانسارهای مهدی‌آباد و منصورآباد در حوضه جنوب یزد (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۵ الف) ذخایر حوضه تیران (Yarmohamadi et al., 2016) و کانسار تپه‌سرخ (بوری و همکاران، ۱۳۹۴) در کمربند فلززایی ملایر- اصفهان اشاره کرد. از ذخایر تیپ MVT با سن کرتاسه در ایران می‌توان به ذخایر شه‌میرزاد در کمربند فلززایی البرز مرکزی (Bazargani-Guilani et al., 2011)، کانسار دره‌زنجیر در حوضه جنوب یزد (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۵ ب) و کانسار نخلک (جزی و شهاب‌پور ۱۳۸۹) در کمربند فلززایی یزد- انارک (Rajabi et al., 2012) اشاره کرد.

کانسار هفت‌سواران شرقی در کمربند فلززایی ملایر- اصفهان و در زون ساختاری سندج- سیرجان قرار گرفته است (شکل ۱). کمربند فلززایی ملایر- اصفهان بزرگ‌ترین کمربند فلززایی روی-سرب در ایران است، که بخش اعظم کانه‌زایی روی-سرب- باریت و آهن در سنگ‌های رسوبی آواری و کربناته تشکیل شده است (Rajabi et al., 2012). این کمربند فلززایی دارای ۶ منطقه کانه‌زایی روی-سرب- باریت و آهن است که شامل منطقه اصفهان، تیران، گلپایگان، الیگودرز، اراک و ملایر هستند. منطقه معدنی اراک بزرگ‌ترین حوضه میزبان کانه‌زایی روی-سرب در کمربند ملایر- اصفهان است. کانسار هفت‌سواران شرقی با مختصات $30^{\circ} 56' 49''$ تا $33^{\circ} 34' 15''$ طول جغرافیایی و $33^{\circ} 34' 45''$ عرض

۳- جایگاه زمین‌ساختی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

پهنه ساختاری سنندج- سیرجان بین زون ساختاری زاگرس در جنوب باختر و کمربند ماگمایی ارومیه- دختر در شمال خاور واقع شده است (Alavi, 1994). در بخش شمالی پهنه ساختاری سنندج- سیرجان، کمربند فلززایی ملایر- اصفهان با روند شمال باختری- جنوب خاوری واقع شده است (شکل ۱- الف). تاکنون مطالعات گسترده‌ای در مورد فرورانش اقیانوس نئوتتیس به زیر پهنه سنندج- سیرجان انجام شده است (Stampfli and Borel, 2002; Mohajjel and Fergusson, 2014). با شروع فرورانش اقیانوس نئوتتیس به زیر ایران مرکزی در تریاس فوقانی- ژوراسیک (Stampfli and Borel, 2002) و ادامه یافتن این رخداد در کرتاسه تحتانی، حوضه کششی پشت قوسی در پهنه ساختاری سنندج- سیرجان تشکیل شده است (Mohajjel and Fergusson, 2014). در بخش شمالی این حوضه کششی که در حال حاضر با عنوان حوضه ملایر- اصفهان شناخته می‌شود (Mohajjel and Fergusson, 2014)، منطقه معدنی اراک واقع شده است (شکل ۱- ب).

تهیه و تکمیل نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰، ترسیم مقطع عرضی کانسار و نمونه برداری از رخنمون‌ها و مغزه‌های حفاری به منظور تعیین مشخصات سنگ میزبان و مطالعات ساختی- بافتی و کانی‌شناسی است. به منظور مطالعات کانی‌شناسی، بافت ماده معدنی، ارتباط سنی نسبی کانه‌زایی با سنگ میزبان و در نهایت ترسیم توالی پاراژنتیکی، مطالعات سنگ‌نگاری بر روی ۵۰ عدد مقطع نازک- صیقلی انجام شده است. به منظور شناسایی بخش‌های دولومیتی از کلسیتی و نیز تمایز دولومیت‌های غنی از آهن و فقیر از آهن، مقاطع نازک- صیقلی به وسیله آلیزارین قرمز و فروسیانید پتاسیم رنگ‌آمیزی شده‌اند. از مطالعات کاتدولومینسانس در پژوهشگاه صنعت نفت برای جدایش نسل‌های مختلف دولومیتی بهره گرفته شده است. مطالعات کاتدولومینسانس توسط دستگاه CITL مدل MK4 و در شرایط اختلاف پتانسیل ۱۵ کیلوولت و شدت جریان ۴۰۰ میکروآمپر انجام شده است.



شکل ۱- الف) نقشه زون‌های ساختاری ایران و موقعیت کمربند ملایر- اصفهان درون زون ساختاری سنندج- سیرجان (SSZ) (منطقه سبز رنگ) (آقابیاتی، ۱۳۸۳؛ ب) کمربند فلززایی روی-سرب رسوبی و مناطق شش‌گانه در کمربند فلززایی روی-سرب ملایر- اصفهان (Momenzadeh, 1976). Al: البرز؛ CIGS: زون ساختاری و زمین‌شناسی ایران مرکزی؛ E: محدوده شرقی ایران؛ K: کپه‌داغ؛ KR: زیر زون رادیولاریتی کرمانشاه؛ L: بلوک لوت؛ M: زون مکران؛ O: کمربند اوفیولیتی؛ PB: بلوک پشت‌بادام؛ SSZ: زون ساختاری سنندج- سیرجان؛ T: بلوک طبرستان؛ Y: بلوک یزد؛ Z: محدوده زابل؛ Za: محدوده زاگرس.

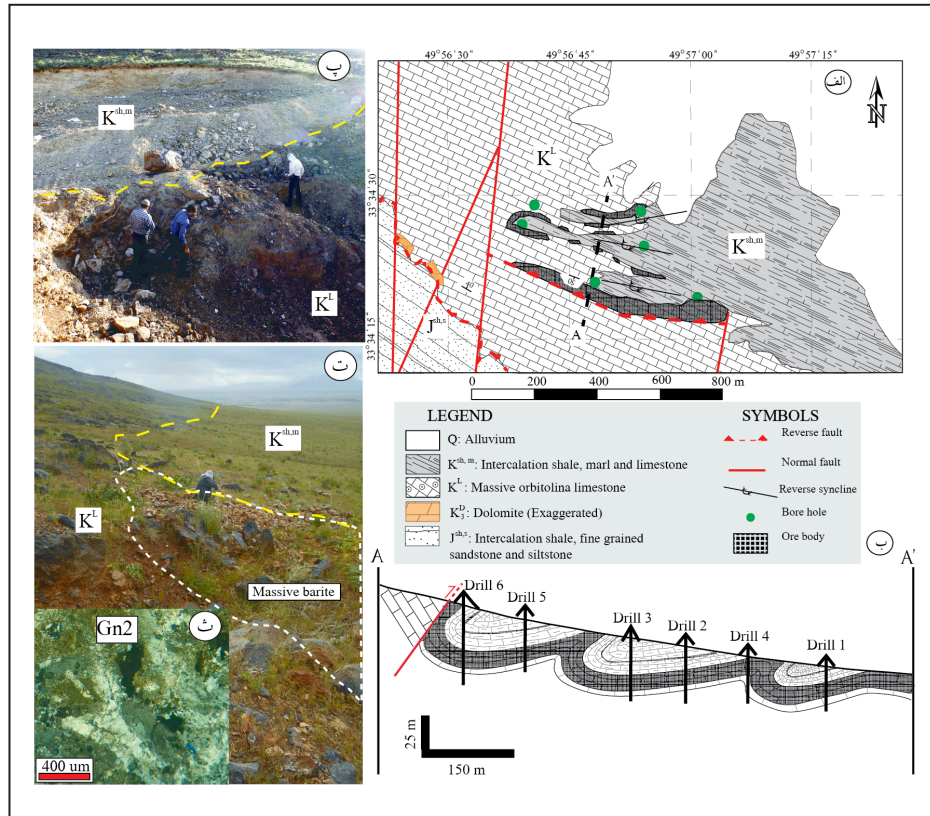
ماسه‌سنگی درشت‌دانه در اثر عملکرد گسل حذف شده و عدسی‌هایی از دولومیت ناحیه‌ای (K_3^D) با ضخامت ۱ تا ۳ متر بر روی واحدهای ژوراسیک قرار گرفته‌اند (شکل ۲- الف). بر روی واحد دولومیتی کرتاسه تحتانی، واحد آهکی ضخیم‌لایه اوریتولین‌دار (K^L) با ضخامت ۴۰۰ متر و متعلق به بارمین بالایی نهشته شده است. این واحد آهکی ضخیم‌لایه اوریتولین‌دار (K^L) بر اساس طبقه‌بندی Danham (1962) از نوع وکستون و در بعضی قسمت‌ها میکرایت- بايومیکرایت است (Seyed-Emami et al., 1971) (شکل ۲- الف)، این واحد رسوبی خود نیز توسط تناوبی از شیل، مارن و آهک ($K^{sh,m}$) به سن آیتین پوشیده شده است (Seyed-Emami et al., 1971) (شکل ۲- الف).

بر اساس مطالعات واعظی‌پور و خلقی (۱۳۸۶)، قدیمی‌ترین واحدهای چینه‌شناسی رخنمون یافته در توالی چینه‌ای کانسار هفت‌سواران شرقی، واحدهای رسوبی ژوراسیک هستند (شکل ۲- الف). واحدهای ژوراسیک شامل تناوب ماسه‌سنگ، سیلت‌سنگ و شیل‌های خاکستری غنی از مواد آلی هستند ($J^{sh,s}$). واحدهای رسوبی ژوراسیک ($J^{sh,s}$) به صورت ناپیوسته توسط کنگلومرای قاعده کرتاسه تحتانی (K^C)، ماسه‌سنگ‌های درشت‌دانه (K^S) (شکل ۱- ب)، واحد ولکانیکی آندزیت- بازالتی (K^{CV}) و دولومیت ناحیه‌ای (K_3^D) پوشیده شده است (شکل ۱- ب). در کانسار هفت‌سواران شرقی مرز ناپیوسته بین ژوراسیک و کرتاسه تحتانی دچار گسلس شده است و در نتیجه این رخداد، واحد کنگلومرای قاعده کرتاسه و واحد

کرده است (شکل ۲-الف).

عملکرد این گسل موجب تغییر در جهت شیب لایه بندی شده و بخش های پایین تر آهک ضخیم لایه را در کنار بالاترین بخش آهک ضخیم لایه قرار داده است (شکل ۲-ب). گسل های نرمال راست گرد با روند NE-SW، شیب ۵۰ تا ۶۵ درجه به سمت SE، گسل معکوس نوع اول واقع در مرز ژوراسیک و کرتاسه تحتانی را قطع کرده و باعث جابه جایی در واحدهای این منطقه شده اند (شکل ۲-الف).

محدوده هفت سواران در یک ناودیس پلانژدار با امتداد سطح محوری شمال باختر- جنوب خاور قرار گرفته و کانسار هفت سواران شرقی دارای دو طاقدیس و سه ناودیس است (شکل ۲-ب). گسل های موجود در این محدوده از نوع گسل های معکوس و نرمال با مؤلفه راست گرد هستند و گسل های معکوس در این کانسار دو نوع هستند: (۱) گسل معکوس در مرز ژوراسیک و کرتاسه تحتانی با روند NW-SE (شکل ۲-الف) و (۲) گسل معکوس مجاور کانه زایی دارای امتداد NW-SE با شیب ۵۵ درجه به سمت SW است و واحدهای آهکی ضخیم لایه را قطع



شکل ۲- نقشه زمین شناسی کانسار هفت سواران شرقی. پروفیل A-A' نیم رخ زمین شناسی کانه زایی است که عمود بر گسل معکوس رسم شده است؛ (ب) تصویر مقطع عرضی کانسار هفت سواران شرقی که در این تصویر چین خوردگی های موجود در کانسار نمایش داده شده است؛ (پ) تصویر صحرایی از تراشه معدنکاری در بخش جنوبی کانسار هفت سواران شرقی که در آن افق اول کانه زایی در زیر واحد $K^{sh.m}$ دیده می شود؛ (ت) تصویر صحرایی از تراشه معدنکاری از باریت توده ای در بخش شمالی کانسار هفت سواران شرقی در افق اول کانه زایی؛ (ث) تصویر نور عبوری از باریت توده ای به همراه گالن.

۴-۱- افق های کانه زایی و ساخت و بافت آنها

پیمایش های صحرایی و مطالعه مقاطع زمین شناسی عمود بر روند لایه بندی در کانسار هفت سواران شرقی نشان می دهد که کانه زایی روی-سرب-باریت در این کانسار در دو افق چینه ای متفاوت تشکیل شده است که در زیر به توصیف این افق ها پرداخته می شود:

۴-۱-۱- افق اول کانه زایی

افق اول کانه زایی در کانسار هفت سواران شرقی با ضخامت ۸ تا ۹ متر و طول ۸۰۰ متر و شکل هندسی ورقه ای شکل (شکل ۲-ب)، افق اصلی کانه زایی این کانسار است که از جهت موقعیت چینه ای در مرز بین آهک ضخیم لایه اوریتولین دار (K^1) و واحد شیلی، واحد $K^{sh.m}$ قرار گرفته و رخساره دولومیتی-سیلیسی توده ای به نام Kld نامیده می شود. درون افق Kld ماده معدنی قابل معدنکاری و پر عیار با ضخامت ۴ متر، عیار مجموع (روی+سرب) ۵% تشکیل شده است. لازم به یاد آوری است که در بخش زیرین افق Kld که از آهک توده ای اوریتولین دار تشکیل شده، کانه زایی و دگرسانی ضعیف به صورت دانه پراکنده و جان شینی رخ داده است. این افق مهم ترین افق کانه زایی در کانسار هفت سواران شرقی و منطقه معدنی اراک است.

همچنین، در این افق و در بخش های میانی واحد K^1 ، کانه زایی ضعیف جان شینی همراه با مواد آلی مشاهده می شود (شکل های ۳-الف و ب). بر اساس مجموعه کانی شناسی در افق هفت سواران شرقی، می توان زون بندی و منطقه بندی کانیایی را در این کانسار مشاهده کرد. در این زون بندی می توان افق اول را به ۳ بخش (۱ جنوبی، ۲ میانی و ۳ شمالی) تقسیم کرد. در بخش جنوبی کالکوپیریت، گالن و مالاکیت (سوپرژن) حضور دارند و کوارتز به مراتب بالاتر از دولومیت است. در بخش میانی، اسفالریت و پیریت فراوان هستند و مقدار دولومیت افزایش یافته است. در بخش شمالی کانسار، عدسی توده ای باریت با طول ۱۰ متر و ضخامت ۳ متر همراه با گالن و دولومیت تشکیل شده است (شکل ۲-ت). بر این اساس می توان منطقه بندی کانیایی از بخش جنوبی (وجود کانی مس دار کالکوپیریت) به سمت بخش شمالی (تشکیل باریت به صورت توده ای) کانسار را مشاهده کرد.

۴-۲- افق دوم کانه زایی

افق دوم کانه زایی از لحاظ جایگاه چینه ای در واحدهای آهکی $K^{sh.m}$ و زیر واحد شیلی تشکیل شده است (شکل ۳-الف). این افق کانه زایی ضخامت بین ۱ تا ۳

است (۴۰۰ میکرومتر تا ۲ میلی‌متر). کانی گالن در این ساخت اندازه متوسط (۱۰۰ تا ۴۰۰ میکرومتر) دارد (شکل ۲-ث) و دچار هوازدگی، اکسیداسیون و تبدیل به سروزیت شده است.

۳-۴. ساخت و بافت رگه-رگچه‌ای: ساخت و بافت رگه-رگچه‌ای در هر دو افق کانه‌زایی تشکیل شده (شکل ۳-ت) و از کوارتز، دولومیت و سولفید تشکیل یافته است که لایه‌بندی سنگ میزبان را به صورت شبکه‌ای نامنظم قطع کرده‌اند. رگه-رگچه‌ها در تمام افق اول و دوم کانه‌زایی وجود دارند و ضخامت آنها از ۱ میلی‌متر تا ۳ سانتی‌متر متغیر است. این رگه-رگچه‌ها متشکل از کانی‌های سولفیدی (شکل ۴-ج) اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، پیریت و به مقدار کمتر تتراندیریت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت و مالاکیت هستند (شکل‌های ۴-چ تا خ). مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که این رگه-رگچه‌ها نقش تغذیه‌کننده و عبور دهنده سیالات کانه‌زایی را در کانسار هفت‌سواران دارند. مشابه این رگه-رگچه‌ها در کانسارهای چاه میر (Rajabi et al., 2015) و تیران (Yarmohammadi et al., 2016) نیز مشاهده شده است (شکل ۴-ج).

۴-۴. دگرسانی

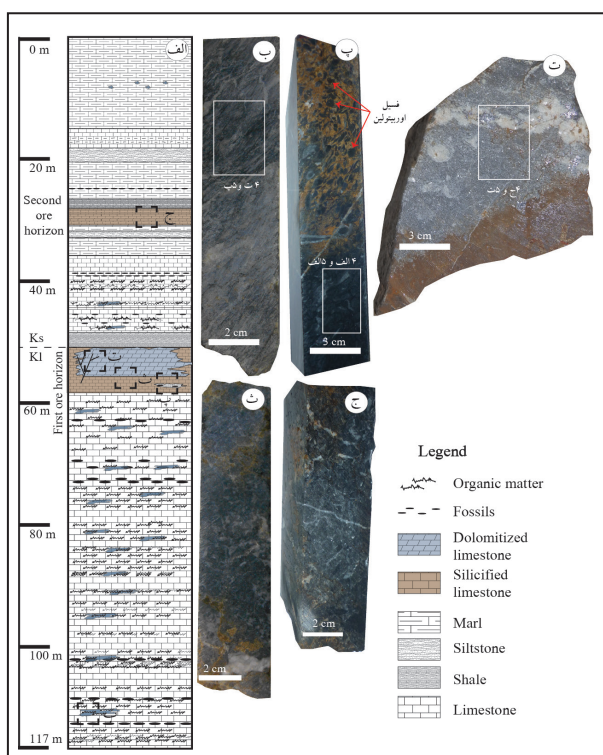
یکی از پدیده‌های جالب دیده شده در کانسار هفت‌سواران شرقی، جانشینی بخشی یا کامل سنگ‌آهک میزبان توسط محصولات فعالیت سیال گرمابی است که توسط آن بخشی از سنگ و یا همه آن دچار دگرسانی شده است. فعالیت سیالات گرمابی در منطقه معدنی هفت‌سواران شرقی سبب تشکیل دگرسانی‌های مختلفی در سنگ‌های درونگیر ماده معدنی شده است. در قسمت‌هایی که سنگ به‌طور کامل دچار دگرسانی دولومیتی-سیلیسی شده، ماهیت سنگ اولیه به‌طور کامل تغییر کرده است و در بخش‌هایی که شدت دگرسانی کم است، بقایایی از فسیل‌ها دیده می‌شود (شکل ۴-الف). دگرسانی‌های شاخص این کانسار کربناتی و سیلیسی (شکل‌های ۴-الف، ت و ذ) است. دگرسانی‌های کربناتی (شکل ۴-ج) و سیلیسی (شکل ۳-ج) در اطراف رگه-رگچه‌های تغذیه‌کننده کانه‌زایی دیده می‌شوند. به‌طوری که در نزدیک این رگه-رگچه‌ها ماهیت سنگ اولیه شدیداً تغییر کرده و بنابراین می‌توان گفت همان سیالی که سبب ورود عناصر فلزی به محیط رسوبی شده، عناصر مورد نیاز برای دگرسانی‌های کربناتی و سیلیسی را با خود حمل کرده و آنها بر جای نهاده است.

متر و طول ۴۰۰ متر دارد. در واحدهای آهکی زیر افق کانه‌زایی دوم، کانه‌زایی ضعیفی همراه مواد آلی دیده می‌شود. بر اساس فعالیت‌های اکتشافی انجام شده در این محدوده عیار مجموع کانه‌زایی Zn+Pb در این افق ۱/۵٪ (روی ۱٪ و سرب ۰/۵٪) است. پایین بودن عیار کانه‌زایی از یک سو و کم بودن ضخامت ماده معدنی از سوی دیگر موجب غیر اقتصادی شدن این افق کانه‌زایی شده است.

۳-۴. ساخت و بافت ماده معدنی

در افق‌های کانه‌زایی کانسار هفت‌سواران شرقی ساخت و بافت‌های زیر دیده می‌شود: **ساخت و بافت جانشینی:** ساخت و بافت جانشینی در تمام طول کانسار مهم‌ترین و رایج‌ترین بافت در کانسار هفت‌سواران شرقی است. جانشینی کانی‌های کربناته (دولومیت و کلسیت)، کوارتز و کانی‌های سولفیدی به جای سنگ‌آهک، جانشینی باریت ریزبلور درون فسیل اوریتولین، جانشینی کلسیت میکرواسپارایت درون فسیل به جای باریت ریزبلور، جانشینی کانی‌های سولفیدی به جای یکدیگر و روابط جانشینی بین کانی‌های غیر سولفیدی و سولفیدی از جمله مهم‌ترین شواهد جانشینی مشاهده شده در کانسار هفت‌سواران شرقی هستند. شدت ساخت و بافت جانشینی در بخش‌های مختلف کانسار متفاوت بوده به‌طوری که در زیر افق اول کانه‌زایی، شدت آن بسیار کم است و بیش از ۶۰ درصد از سنگ‌آهک میزبان کانه‌زایی، سالم باقی مانده و به‌صورت خیلی ضعیف دچار دگرسانی و کانه‌زایی شده و در زیر واحد سیلیسی شدت آن بسیار زیاد بوده که موجب تغییر ماهیت سنگ اولیه شده است. این ساخت و بافت در هر دو افق کانه‌زایی رخ داده است و مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که جنس سنگ میزبان مؤثرترین عامل در تشکیل رخداد جانشینی است. کانی‌شناسی مشاهده شده در ساخت و بافت جانشینی بیشتر شامل پیریت، کالکوپیریت، گالن، تتراندیریت و اسفالریت است. اسفالریت و پیریت فراوان‌ترین کانی‌های سولفیدی در این ساخت و بافت هستند. در این ساخت و بافت، بافت‌هایی در مقیاس میکروسکوپی مشاهده شده که از جمله آنها می‌توان به پیریت فرموبیدال (اندازه ۳ تا ۵۰ میکرومتر (مد ۱۰ میکرومتر)) و خودشکل اشاره کرد که در زمینه این پیریت‌های فرموبیدال کانی‌های اسفالریت و گالن (اندازه بین ۱ تا ۵ میکرومتر) تشکیل شده است.

ساخت و بافت توده‌ای: ساخت توده‌ای در بخش شمالی کانسار هفت‌سواران شرقی و همراه با عدسی باریتی افق اول دیده می‌شود. در ساخت توده‌ای، کانی باریت فراوان‌ترین کانی بوده که به‌صورت درشت‌بلور، کشیده و خودشکل



شکل ۳-الف) ستون سنگ‌چینه‌ای کانسار هفت‌سواران شرقی؛ ب) کانه‌زایی با عیار پایین در بخش‌های میانی و کم عیار واحد آهکی ضخیم‌لایه که دارای مواد آلی است؛ پ) بخش‌های دارای کانه‌زایی و دگرسانی ضعیف که در آن بقایای فسیل اوریتولین با فلش‌های قرمز رنگ نشان داده شده است؛ ت) ساخت و بافت جانشینی دولومیتی در افق کانه‌زایی اصلی؛ ث) پهنه تغذیه‌کننده و ساخت رگه‌ای در بخش اصلی کانه‌زایی؛ ج) کانه‌زایی و دگرسانی شدید سیلیسی درون آهک واحد K^{sh} همراه رگچه‌های سیلیسی.

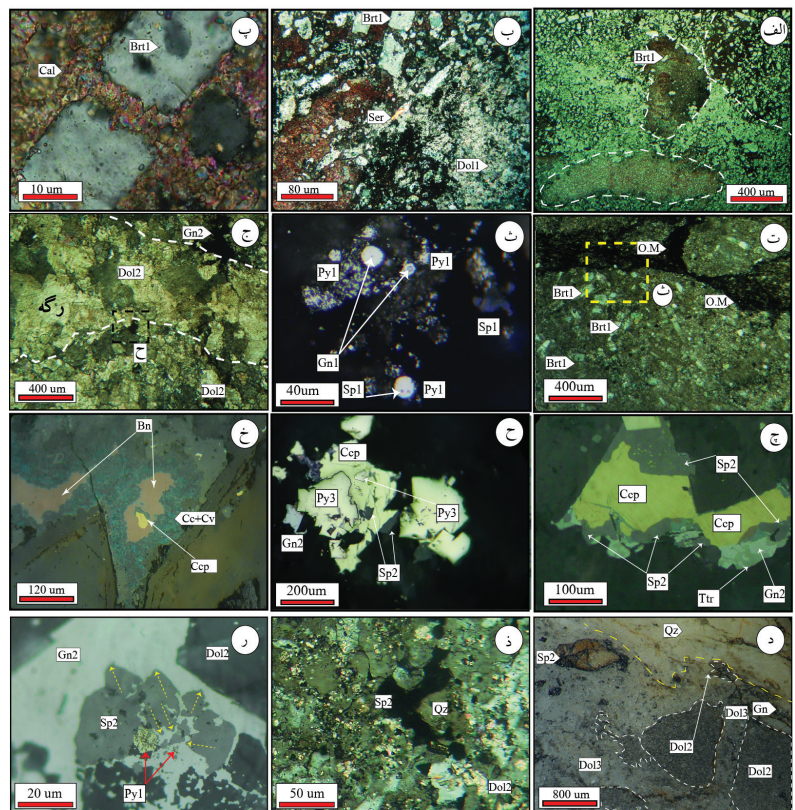
مشاهده کرد (شکل ۴-الف). این نسل از دولومیت‌ها فقیر از آهن هستند (بیرنگ در اثر رنگ آمیزی) (شکل‌های ۵-الف و پ) و با باریت ریزبلور (شکل ۴-الف)، سولفیدهای ریزبلور و پیریت‌های فرموبیدال (شکل ۴-ث) همراه هستند.

• **دولومیت نسل دوم:** دولومیت نسل دوم نسبت به دولومیت نسل اول اندازه متوسط تا درشت‌بلور (۱۰۰ میکرومتر تا ۲ میلی‌متر) دارد و به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل دار دیده می‌شود (شکل ۴-ج). این نسل از دولومیت درون رگه-رگچه‌ها (شکل‌های ۴-ت و ث) و همچنین در بخش‌های دچار دگرسانی شدید در هر دو افق کانسار هفت‌سواران شرقی مشاهده می‌شود (شکل‌های ۳-ت و ث). دولومیت‌های نسل دوم درون رگه‌ها نسبت به دولومیت‌های زمینه سنگ، نیمه‌شکل دار و درشت‌بلورتر هستند (شکل ۴-ج). دگرسانی دولومیتی نسل دوم، از نظر فراوانی اولین دگرسانی کربناتی و دومین دگرسانی فراوان در این کانسار است و ۴۰٪ از بخش فوقانی واحد K^L را شامل می‌شود. رنگ این دولومیت‌ها در اثر رنگ‌آمیزی با فروسیانید پتاسیم و آلزایرین رد به رنگ آبی تغییر یافته و در مطالعات کاتدولومینسانس تیره است (شکل ۵-ت) و بنابراین غنی از آهن هستند. این نسل از دولومیت‌ها دارای بیشترین همراهی با افق‌های کانه‌زایی کانسار هفت‌سواران هستند.

— **دگرسانی کربناتی:** در کانسار هفت‌سواران دگرسانی کربناتی در ارتباط مستقیم با کانه‌زایی سولفیدی است. به طوری که هر چه شدت کربناتی شدن بیشتر می‌شود، کانه‌زایی نیز شدت بیشتری می‌یابد. دگرسانی کربناتی در تمام بخش‌های کانه‌زایی هفت‌سواران شرقی به صورت کانی‌های دولومیت، دولومیت غنی از آهن و کلسیت تشکیل شده است (شکل ۵). این دگرسانی در ساخت و بافت‌های رگه-رگچه‌ای، جانیشینی و توده‌ای دیده می‌شود. بر اساس مطالعات حاصل از رنگ‌آمیزی مقاطع نازک-صیقلی و کاتدولومینسانس، سه نسل دولومیت و یک نسل کلسیت مشخص شده است.

• **دولومیت نسل اول:** دولومیت نسل اول نسبت به دیگر نسل‌های دولومیت موجود در بخش کانه‌زایی کانسار هفت‌سواران، ریزبلور (۵ میکرومتر تا ۲۰ میکرومتر)، بی‌شکل تا نیمه‌شکل دار است (شکل‌های ۴-الف، ب و ت). این دولومیت‌ها بیشتر در قسمت‌های دارای کانه‌زایی ضعیف همراه مواد آلی (شکل ۴-ت) و نیز در قسمت‌های فوقانی آهک ضخیم‌لایه (سنگ میزبان افق اول) دیده می‌شود که شدت دگرسانی کم است (شکل ۴-الف). دگرسانی دولومیتی نسل اول همچنین در رخساره‌های سنگی میکرایتی و وکستونی، بخش میانی واحد K^L تشکیل شده است. به طوری که در بخش فوقانی واحد K^L ، می‌توان آن را در زمینه سنگ و بین فسیل‌ها

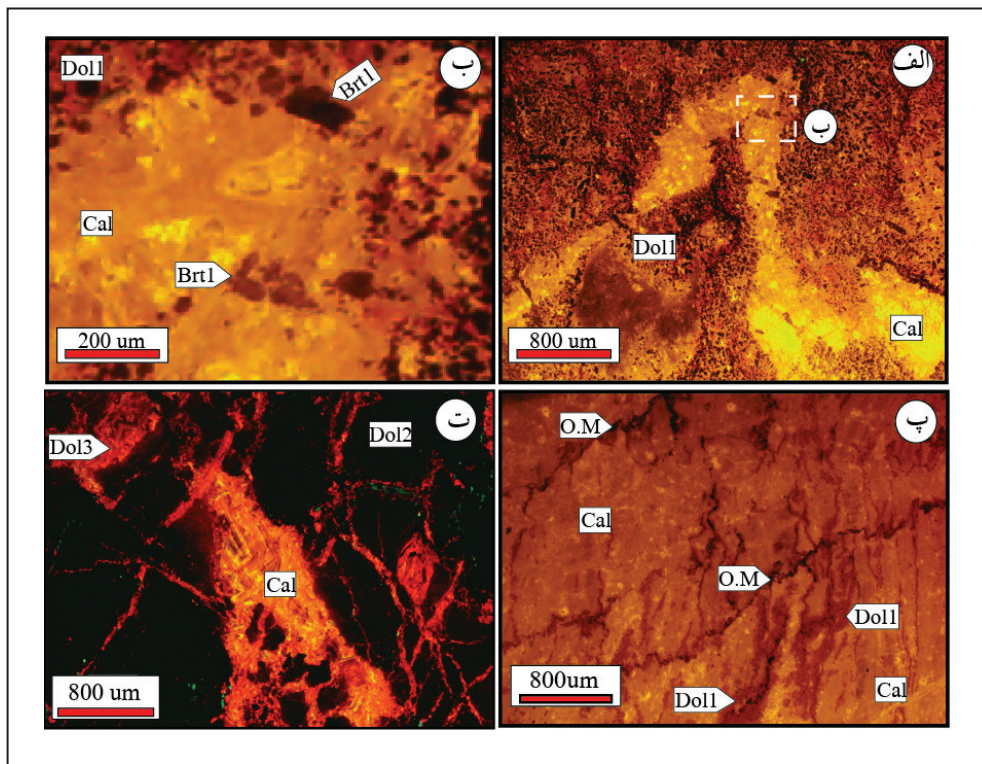
شکل ۴-الف) تصویر نور عبوری از بخش کم‌عیار که در آن بقایایی از فسیل‌های اوریتولین در زمینه دگرسان سنگ مشاهده می‌شود؛ ب) تصویر نور عبوری که دولومیتی شدن نسل اول را همراه با فسیل (بخش قرمز رنگ) به همراه کانی‌های باریت ریزبلور خودشکل و سرسیت نشان می‌دهد؛ پ) تصویر نور عبوری درون یک فسیل اوریتولین که باریت خودشکل درون آن توسط میکروسپارایت جانشین شده است؛ ت) تصویر نور عبوری از بخش کم‌عیار که در آن دولومیت‌های نسل اول در کنار مواد آلی و باریت ریزبلور در زمینه بین فسیل‌ها مشاهده می‌شوند؛ ث) تصویر نور انعکاسی از کادر خط‌چین تصویر ت که در آن درون زمینه پیریت فرموبیدال، کانی اسفالریت و گالن دیده می‌شود؛ ج) تصویر نور عبوری از کانه‌زایی سولفیدی همراه با رگه کربناتی درشت بلور دولومیت نسل دوم؛ چ) تصویر نور انعکاسی از محل مشخص شده در تصویر ج که در آن اسفالریت، کالکوپیریت، تترااندريت و گالن مشاهده می‌شوند؛ ح) تصویر میکروسکوپی نور انعکاسی که در آن کالکوپیریت در حال جانیشینی به جای پیریت خودشکل است؛ خ) تصویر نور انعکاسی که در آن کانی‌های کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت و کولیت مشاهده می‌شود؛ د) تصویر بیناکولار که در آن بافت برشی و جانیشینی درون دولومیت‌های نسل سوم دیده می‌شود؛ ذ) تصویر نور عبوری که در آن ارتباط کوارتز (دگرسانی سیلیسی) با دولومیت نسل دوم و اسفالریت نشان داده شده است؛ ر) تصویر نور انعکاسی که در آن، پیریت فرموبیدال، گالن و اسفالریت نسل دوم مشاهده می‌شود. بقایایی از پیریت فرموبیدال نسل اول درون اسفالریت و گالن نسل دوم دیده می‌شود. فلش‌های خط‌چین زرد رنگ نازک محل تحذب اسفالریت به سمت گالن و رشد و جانیشینی اسفالریت به جای گالن را نشان می‌دهند؛ Py.1: پیریت نسل اول؛ Py.3: پیریت نسل سوم؛ Ccp: کالکوپیریت نسل اول؛ Sp1: اسفالریت نسل اول؛ Sp2: اسفالریت نسل دوم؛ Ttr: تترااندريت؛ Bn: بورنیت؛ Cv: کولیت؛ Cc: کالکوسیت؛ D1: دولومیت نسل اول؛ Dol2: دولومیت نسل دوم؛ Dol3: دولومیت نسل سوم؛ Cal: کلسیت؛ Qz: کوارتز؛ O.M: مواد آلی؛ Ser: سرسیت؛ Brt1: باریت نسل اول. (علائم اختصاری کانی‌ها و کانه‌ها براساس (Whitney and Evans 2010).



هفت‌سواران شرقی، دگرسانی سیلیسی است. این دگرسانی به صورت بلورهای کوارتز نیمه‌شکل‌دار تا خودشکل‌دار در بخش فوقانی سنگ میزبان K^+ بخش شدیداً دگرسان $K^{sh,m}$ دیده می‌شود. بلورهای کوارتز در این کانسار دارای اندازه درشت (۱۰۰ میکرومتر تا ۲۵۰ میکرومتر) تا متوسط (۵۰ میکرومتر تا ۱۰۰ میکرومتر) هستند و بلورهای درشت کوارتز درون بقایای فسیل‌های اوریتولین و بلورهای ریز در زمینه بین فسیل‌ها تشکیل شده‌اند. دگرسانی سیلیسی فراوان‌ترین دگرسانی در کانسار هفت‌سواران شرقی است و حدود ۵۰٪ دگرسانی‌های این کانسار را شامل می‌شود. دگرسانی سیلیسی، جانشین دگرسانی دولومیتی نسل دوم و اسفالریت شده است (شکل‌های ۴-د و ۵-ذ) و بقایایی از دولومیت نسل دوم درون دگرسانی سیلیسی دیده می‌شود (شکل ۴-ذ).

• **دولومیت نسل سوم و کلسیت:** دولومیت نسل سوم و کلسیت به صورت متوسط‌بلور (۵۰ میکرومتر تا ۲۰۰ میکرومتر) در رگچه‌ها و زمینه سنگ دیده می‌شوند. این نسل از دولومیت، دولومیت‌های نسل دوم را قطع و برشی کرده‌اند (شکل‌های ۴-د و ۵-ت) و این نشان از تأخیری بودن این نوع دولومیت نسبت به دولومیت‌های نسل اول و دوم دارد. دگرسانی دولومیتی نسل سوم و کلسیتی، از نظر فراوانی سومین دگرسانی کربناتی و چهارمین دگرسانی فراوان در این کانسار است. در مطالعات کاتدولومینسانس رگچه‌های کلسیتی زرد رنگ و رگچه‌های دولومیتی نارنجی رنگ و بنابراین فقیر از آهن هستند و دولومیت‌های تیره رنگ نسل دوم را قطع کرده‌اند (شکل ۵-ت).

- **دگرسانی سیلیسی:** یکی دیگر از دگرسانی‌های دیده شده در کانسار



شکل ۵- تصاویر کاتدولومینسانس کانسار هفت‌سواران شرقی. الف) تصویر کاتدولومینسانس از بخش کم‌عیار که در آن کلسیت و دولومیت نسل اول نمایش داده شده است؛ ب) بزرگنمایی از تصویر الف که در آن می‌توان باریت‌های خود شکل نسل اول را دید که در حال جانشینی به وسیله کلسیت هستند؛ پ) تصویر کاتدولومینسانس که در آن مواد آلی، دولومیت نسل اول و کلسیت میزبان دیده می‌شود؛ ت) تصویر کاتدولومینسانس که در آن دولومیت نسل دوم که غنی از آهن است به صورت تیره رنگ دیده می‌شود که از دولومیت نسل سوم که نارنجی رنگ و کلسیت که روشن هستند قابل تشخیص است؛ Brt1: باریت نسل اول. Dol1: دولومیت نسل اول. Dol2: دولومیت نسل اول. Dol3: دولومیت نسل دوم. Cal: کلسیت. O.M: مواد آلی.

۴-۵. توالی همبود کانیاپی و مراحل کانده‌زایی

کلسیت اسپارایتی درون فسیل‌ها جانشین شده‌اند (شکل‌های ۴-ت و ۵-ب). سپس دولومیت و سولفیدهای نسل اول پیش از سخت شدن رسوبات تشکیل شده، فسیل‌ها را قطع کرده و جانشین آنها شده‌اند (شکل ۴-الف). در این مرحله، در نتیجه فعالیت سیال گرمایی پارائز کانیاپی باریت، دولومیت به همراه حجم کمی از سولفید تشکیل شده است. سولفیدهای نسل اول در این کانسار به صورت ریزبلور هستند و از اسفالریت (Sp1)، گالن (Gn1) و پیریت (Py1) تشکیل یافته‌اند (شکل ۴-ث). پیریت‌های فرامبوئیدال، پیریت‌های نسل اول تشکیل شده در کانسار هفت‌سواران هستند (شکل ۴-ث) که در زمینه آنها گالن و اسفالریت (با اندازه ۱ تا ۵ میکرومتر) فضای بین ذرات پیریت فرمبوئیدال را اشغال کرده‌اند (شکل ۴-ث). پیریت‌های فرمبوئیدال

بر اساس مطالعات ساخت و بافت، کانی‌شناسی و ارتباطات جانشینی کانی‌ها، توالی همبود کانیاپی در چهار مرحله اصلی برای کانسار هفت‌سواران ترسیم شده است که این چهار مرحله اصلی عبارتند از: ۱) مرحله پیش از کانده‌زایی، ۲) مرحله کانده‌زایی اصلی، ۳) مرحله پس از کانده‌زایی و ۴) مرحله بالا آمدگی و هوازدگی.

- **مرحله پیش از کانده‌زایی:** در ابتدا واحد آهکی درونگیر کانده‌زایی (واحد K^+) و فسیل‌های اوریتولین به صورت میکرایت ته‌نشین شده‌اند. باریت ریزبلور خودشکل‌دار به عنوان اولین محصول سیال گرمایی در زمینه بین فسیل‌ها و درون فسیل‌های اوریتولین جانشین شده است (شکل‌های ۴-الف و ۵-ت). در ادامه، بلورهای باریت مجدداً توسط

بافت جانیشینی، بافت غالب در این مرحله است. بر اساس روابط جانیشینی و قطع شدگی در سولفیدها می توان اظهار داشت که پیریت اولین کانی سولفیدی برجای گذاشته شده توسط سیال گرمایی است (شکل ۴-ح). پیریت یادشده توسط کالکوپیریت (شکل ۴-ح) و سپس کانی کالکوپیریت توسط گالن قطع و جانشین شده و بعد از گالن، نوبت تشکیل کانی تتراندريت است (شکل ۴-چ). کانی اسفالريت جانشین کانی های کالکوپیریت (شکل ۴-چ)، گالن (شکل ۴-ر) و تتراندريت (شکل ۴-ج) شده است. بنابراین، در این مرحله بافت جانیشینی بیشترین گسترش را داشته و در آن کانی های سولفیدی نسل دوم، جانشین کانی های سولفیدی نسل اول و نیز به طور بخشی جانشین یکدیگر شده اند (شکل ۴-ر) که این جانیشینی نشان دهنده رخداد این مرحله در زیر کف دریاست (Wilkinson et al., 2005).

- **مرحله بعد از کانه زایی:** در مرحله بعد از کانه زایی در طی دیاژنز تدفینی، دولومیت نسل سوم (Dol 3) همراه با کلسیت به صورت رگچه ای تشکیل شده که باعث قطع شدن دولومیت های نسل دوم و کوارتز ناشی از دگرسانی سیلیسی شده است (شکل ۴-ذ). درون بعضی از این رگچه ها کانی های اسفالريت و به مقدار کمتر گالن دیده می شود.

- **مرحله بالا آمدگی و هوازدگی:** در اثر فعالیت های زمین ساختی، فرسایش و نمود کانه زایی در سطح، کانسار مورد فرایندهای هوازدگی قرار گرفته است. در این مرحله کانی های بورنیت، کالکوسیت، کولیت (شکل ۴-خ)، گوتیت، مالاکیت، کالامین و سروزیت تشکیل شده است.

در این کانسار به دو شکل، پیریت های فرموبیدال تک (Py1) و پیریت های فرموبیدال چندتایی دیده می شوند. پیریت های فرموبیدال اندازه ای متغیر از ۵ تا ۵۰ میکرومتر دارند. این پیریت ها در مراحل اولیه دیاژنز رشد کرده و به فرم خود شکل (Py2) تبدیل شده اند. همراهی باریت با سولفید حاکی از تشکیل باریت از سیال گرمایی بوده است. فسیل اوریتولین در ابتدا جنس میکريت دارد که با شروع دیاژنز اولیه و در اثر فشار دیاژنزی به اسپارایت تبدیل می شود. در نتیجه اسپارایتی شدن فسیل، بلورهای باریت جانشین شده درون فسیل (شکل ۴-الف) توسط اسپارایت جانشین می شوند که این قطع شدگی (شکل ۴-پ) و جانیشینی نشان دهنده تشکیل باریت در زیر کف دریا قبل از دیاژنز و اسپارایتی شدن فسیل است. بنابراین با توجه به جانیشینی باریت با اسپارایت حاصل از دیاژنز، تشکیل باریت قبل از شروع دیاژنز اولیه و در پایان رسوب گذاری توسط سیال گرمایی صورت گرفته است (شکل ۶).

- **مرحله اصلی کانه زایی:** مرحله دوم کانه زایی با تشکیل کانی های دولومیت نسل دوم (Dol 2) شروع می شود و با تشکیل کانی های پیریت (Py 3)، کالکوپیریت (Ccp)، گالن (Gn 2)، اسفالريت (Sp 2) و باریت (Brt 2) ادامه می یابد (شکل ۶). پیریت و باریت تشکیل شده در این مرحله درشت تر از مرحله قبل هستند و باریت حالت توده ای دارد. در انتهای مرحله اصلی کانه زایی، کوارترهای بی شکل تا شکل دار (شکل ۴-ذ) به عنوان آخرین فاز این مرحله تشکیل شده اند (شکل ۶). این مرحله از کانه زایی به صورت ساخت و بافت جانیشینی، رگه-رگچه ای و توده ای مشاهده می شود. بیشترین حجم کانه-زایی در این مرحله تشکیل شده و

Minerals		Stages	Mineralization			Uplift and weathering
			Sedimentation	Pre-mineralization (replacement tex.)	Main mineralization (vein-veinlets, replacement tex.)	
Lithification	Fossil (Micrite) (Mud lime)					
	Fossil (Sparite)		---			
Alterations	Dolomitization I		---			
	Dolomitization II			---		
	Dolomitization III					
	Calcite					
	Silicification				---	
	Sericitization					---
Ore minerals	Barite I		---			
	Barite II					
	Pyrite Ia		---			
	Pyrite Ib		---			
	Pyrite II		---			
	Pyrite III		---			
	Chalcopyrite					
	Galena I		---			
	Galena II					
	Galena III					
	Tetraedrite					
	Sphalerite I		---			
	Sphalerite II					
	Sphalerite III					
	Bornite					
	Chalcoite					
Covelline						
Malachite						
Goethite						
Cerussite						
Calamine						

شکل ۶- مراحل تشکیل، تکوین کانه زایی و توالی همبود کانیایی در کانسار هفت سوران شرقی.

۵- بحث

به منظور درک بهتر از ژنز و تیپ کانه‌زایی کانسار هفت‌سواران شرقی با توجه به سنگ میزبان کربناتی آن، ویژگی‌های شاخص این کانسار با ویژگی‌های شاخص تیپ‌های کانساری MVT و ایرلندی (Irish) مورد مقایسه قرار گرفته است. با توجه به مطالعات گسترده علمی که بر روی کانسار Lisheen از نوع ایرلندی توسط Wilkinson et al. (2005) صورت گرفته، ویژگی‌های هفت‌سواران شرقی بیشتر با کانسار Lisheen مقایسه شده است. برخی محققین بر این عقیده‌اند (Wilkinson, 2014; Goodfellow and Lydon, 2007) که کانسارهای سدکس با میزبان کربناتی که در زیر کف دریا به صورت جانیشینی تشکیل می‌شوند، در زیر گروهی به نام کانسارهای نوع ایرلندی قرار دارند.

در کانسار هفت‌سواران شرقی سنگ‌آهک با رخساره‌های رسوبی میکرایت، بائومیکرایت و وکستون، دربردارنده کانه‌زایی است. این رخساره‌ها معمولاً در محیط‌های کم‌عمق دریایی و کربنات‌های پلاتفرمی کم‌انرژی تشکیل می‌شوند (Waasbergen, 1995). کانسارهای Zn-Pb حوضه ایرلند در بخش تحتانی واحد آهکی توده‌ای خاکستری رنگ Waulsortian که رخساره آن Biomicrite است، لایه‌بندی ضعیف دارد و به سن کربونیفر پایینی است، ته‌نشین شده‌اند (Wilkinson, 2014).

در کانسار هفت‌سواران شرقی وجود مواد آلی فراوان در واحد شیلی کمربالای کانه‌زایی نشان‌دهنده نبود اکسیژن در شرایط رسوب‌گذاری است. نفوذناپذیری واحد شیلی کمربالای کانه‌زایی، واکنش‌پذیری بالای سنگ‌آهک و از سوی دیگر حضور مواد آلی درون واحد آهکی همگی شرایط مناسبی را فراهم کرده‌اند تا سیالات گرمایی بتوانند همراه با ایجاد دگرسانی دولومیتی - سیلیسی، موجب کانه‌زایی در بخش فوقانی واحد آهک توده‌ای اوریتولین دار K^+ در واحد Kld و کربنات‌های نازک لایه واحد $K^{sh.m}$ شوند.

کانی‌شناسی کانسار هفت‌سواران شرقی شامل اسفالریت، پیریت، گالن، کالکوپیریت، تترائدریت، باریت و به مقدار جزئی بونیت، کالکوسیت، کوولیت، گوتیت، مالاکیت، کالامین و سروریت است. ساخت و بافت در این کانسار به صورت جانیشینی، توده‌ای و رگه - رگچه‌ای است. فرایند جانیشینی در مقیاس‌های مختلف در کانسار هفت‌سواران شرقی مشاهده می‌شود. به طوری که واحد آهکی دربردارنده کانسار با دولومیت، سیلیس و سولفید حاصل از فعالیت سیال گرمایی جانیشین شده است و در مقیاس میکروسکوپی نیز بافت جانیشینی در بین کانی‌های سولفیدی مشاهده می‌شود (شکل ۴). بافت رگه - رگچه‌ای و حضور سولفیدهایی نظیر گالن و کالکوپیریت درون و اطراف رگه - رگچه‌ها نشان می‌دهد که این رگه - رگچه‌ها تغذیه کننده کانه‌زایی در این کانسار هستند. کانی‌شناسی در کانسارهای Zn-Pb حوضه ایرلند شامل اسفالریت، گالن، پیریت، باریت، کالکوپیریت و به مقدار فرعی سولفوسالت است (Wilkinson, 2014). (Wilkinson, 2014) بیان می‌کند که کانه‌زایی در این کانسارها عدسی‌شکل و به صورت چین‌سان است که ممکن است در زیر آن، پهنه تغذیه کننده وجود داشته باشد. وجود منطقه‌بندی جانبی کانیاپی در کانسار هفت‌سواران شرقی، از بخش جنوبی (دارای کالکوپیریت و تترائدریت) به سمت بخش شمالی کانسار (دارای باریت توده‌ای) در کانسارهای نوع ایرلندی و سدکس به صورت جانبی و عمودی گزارش شده است (Goodfellow et al., 1993; Wilkinson, 2014).

کانسار سرب - روی Lisheen نیز مانند کانسار هفت‌سواران شرقی دارای سه مرحله کانه‌زایی است. مرحله اول کانه‌زایی در Lisheen همراه با کانی‌های باریت و مقدار فرعی اسفالریت و پیریت/مارکاسیت است (Wilkinson et al., 2005). بر اساس مطالعات سن‌سنجی به روش Re-Os که روی پیریت‌های کانسارهای روی - سرب حوضه ایرلند صورت گرفته، مرحله اول کانه‌زایی در این کانسارها نیز در دیاژنز اولیه رخ داده است (Hnatyshin et al., 2015). در ادامه این مرحله، مرحله اصلی کانه‌زایی به صورت جانیشینی کانی‌های سولفید مرحله اصلی به جای کانی سولفید آهن مرحله اول صورت گرفته است (Wilkinson et al., 2005). در کانسار

Anarraaq با سنگ میزبان کربناتی در آلاسکا نیز تشکیل مجموعه پاراژنری باریت‌های ریزبلور و خودشکل به همراه مقادیر فرعی از سولفید، نشان‌دهنده شروع عملکرد فعالیت سیال گرمایی در نزدیک کف دریا، درون گل آهکی میزبان به عنوان مرحله اول کانه‌زایی است (Kelley et al., 2004). در کانسار هفت‌سواران شرقی حضور کانه‌زایی همراه با مواد آلی چین‌خورده (شکل ۴-ت)، بافت فراموبیدال پیریت همراه با اسفالریت و گالن (شکل ۴-ث) در زمینه آن و نیز حضور باریت‌های ریزدانه خود شکل درون فسیل‌ها (شکل ۴-الف) و در زمینه بین فسیل‌ها (شکل ۴-ج) نشان‌دهنده شروع رخداد کانه‌زایی در ابتدای دیاژنز اولیه سنگ میزبان توسط سیال گرمایی در نزدیک کف دریا است. پیریت‌های فرموبیدال همراه با گالن و اسفالریت در زمینه آن، با قطر بین ۵ تا ۵۰ میکرومتر در محیط‌های کم اکسیژن (Suboxic) درون رسوبات و نزدیک کف دریا درون آب‌های منفذی تشکیل می‌شوند (Wilkin and Barnes, 1997; Gadd et al., 2016). جانیشینی سولفیدهای مرحله دوم کانه‌زایی نظیر گالن و اسفالریت به جای پیریت‌های فرموبیدال (شکل ۴-ر) نشان‌دهنده آن است که مرحله اصلی کانه‌زایی نیز در کانسار هفت‌سواران شرقی به صورت جانیشینی در زیر کف دریا در ادامه مرحله اول صورت گرفته است.

در کانسار هفت‌سواران شرقی دگرسانی دولومیتی با فراهم آوردن حجم و فضای خالی (به علت پایین تر بودن حجم دولومیت از کلسیت) بستر مناسبی را جهت کانه‌زایی در این کانسار تشکیل داده است. این نوع دگرسانی دولومیتی در کانسار Lisheen نیز گزارش شده که در این کانسار دو نوع دولومیت ناحیه‌ای و گرمایی معرفی شده است (Wilkinson, 2014; Wilkinson et al., 2005). فرایند دولومیتی شدن ناحیه‌ای سبب گسترش فضای خالی و افزایش تخلخل شده و در نتیجه بستر مناسبی را برای ورود و جانیشینی سیال‌های گرمایی کانه‌دار فراهم آورده است.

در ذخایر نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT)، تشکیل کانه‌زایی از لحاظ ساختاری محدود به گسل‌های نرمال حاصل از کشش‌های بعد از برخورد در کمربندهای کوهزایی و راندگی است. شکل هندسی کانسار چین‌کران بوده که در دو سمت گسل نرمال گسترش یافته است. بافت پرکننده فضای خالی اصلی‌ترین بافت دیده شده در این نوع کانسارها بوده و همچنین سنگ میزبان این کانسارها به وسیله تراست‌شدگی روی واحدهای آواری جوان‌تر رانده شده است (Leach et al., 2005). بنابراین، با توجه به ویژگی‌های اساسی کانسار هفت‌سواران شرقی شامل تشکیل در محیط کششی پشت قوسی، شکل هندسی ورقه‌ای و سنگ میزبان کربناتی خالص که با مرز عادی روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته است، نمی‌توان این کانسار را مشابه با کانسارهای دره می‌سی‌سی‌پی در نظر گرفت.

۶- نتیجه‌گیری

بر اساس مقایسه صورت گرفته میان ویژگی‌های شاخص کانسار هفت‌سواران شرقی با کانسارهای روی - سرب با سنگ میزبان کربناتی، همانندی میان ویژگی‌های شاخص کانسار هفت‌سواران شرقی با کانسارهای نوع ایرلندی تشکیل شده در زیر کف دریا بسیار زیاد است. ویژگی‌هایی مانند سنگ میزبان کربناتی، شکل هندسی ورقه‌ای، کانی‌شناسی، ارتباطات ساختی و بافتی مانند حضور باریت‌های ریزبلور خودشکل، پیریت‌های بسیار ریزدانه فراموبیدال همراه با سولفیدهای اسفالریت و گالن در زمینه آن، همگی نشان‌دهنده رخداد مرحله اول کانه‌زایی در نزدیکی کف دریا و در ادامه آن جانیشینی سولفیدهای مرحله اول با سولفیدهای مرحله دوم، دگرسانی‌های دولومیتی و سیلیسی، و همچنین منطقه‌بندی کانیاپی نشان‌دهنده تشکیل مرحله اصلی کانه‌زایی در کانسار هفت‌سواران شرقی در زیر کف دریا و در مرحله دیاژنز در سنگ میزبان کربناتی است. بنابراین با توجه به ویژگی‌های فوق کانسار هفت‌سواران شرقی را می‌توان از نوع کانسارهای SEDEX تشکیل شده در زیر کف دریا با میزبان کربناتی یعنی از نوع ایرلندی (Wilkinson, 2014; Goodfellow and Lydon, 2007) در نظر گرفت.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همه مسئولین محترم شرکت سیمین معادن درخشان به ویژه جناب دکتر یارمحمدی مشاور ارشد اکتشافی معدن هفت سواران برای فراهم ساختن امکانات اقامتی - رفاهی و امکان بازدید و نمونه برداری از بخش های مختلف و مغزه های حفاری معدن هفت سواران و در اختیار گذاشتن اطلاعات مورد نیاز صمیمانه سپاسگزاری می شود.

کتابنگاری

آفانیاتی، س.ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۵۵۶.
 بویری، م.، راستاد، ا.، محجل، م.، ناکینی، ع. و حق دوست، م.، ۱۳۹۴- ساخت و بافت، کانی شناسی و چگونگی تشکیل رخساره های سولفیدی در کانسار روی-سرب- (نقره) تپه سرخ با سنگ میزبان آواری- کربناتی، جنوب اصفهان، فصلنامه علوم زمین، شماره ۹۷، صص. ۲۲۱ تا ۲۳۶.
 جزئی، م. و شهاب پور، ج.، ۱۳۸۹- بررسی خصوصیات کانی شناسی، ساختی، بافتی و ژئوشیمیایی معدن سرب نخلک، اصفهان، مجله زمین شناسی اقتصادی، شماره ۲، ج ۳، صص. ۱۳۱ تا ۱۵۱.
 مغفوری، س.، حسین زاده، م.، ر.، رجیبی، ع. ا. و عظیم زاده، ا. م.، ۱۳۹۵الف- تحلیل رخساره ای سنگی و جایگاه چینه ای افق های کانه زایی روی- سرب- باریت با میزبان کربناته- تخریبی در توالی رسوبی کرتاسه پیشین، حوضه جنوب یزد، فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۰۲، صص. ۲۳۳ تا ۲۴۶.
 مغفوری، س.، حسین زاده، م.، ر.، رجیبی، ع. ا. و عظیم زاده، ا. م.، ۱۳۹۵ب- کانسار دره زنجیر، نمونه ای از کانسارهای روی- سرب با میزبان کربناته (MVT) در توالی رسوبی کرتاسه پیشین، حوضه جنوب یزد، فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۰۳، صص. ۱۱ تا ۲۶.
 موحدنیا، م.، راستاد، ا. و رجیبی، ع. ا.، ۱۳۹۱- کانسار روی- سرب آب باغ؛ نمونه ای از کانسارهای روی و سرب با سنگ میزبان آواری- کربناته در جنوب شرقی ترین بخش کمر بند فلز زایی ملایر- اصفهان، سی و سومین گردهمای علوم زمین.
 واعظی پور، م. ج. و خلقی، م. خ.، ۱۳۸۶- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و رجه. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

References

- Alavi, M., 1994- Tectonics of the zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, V. 229, p. 211-238.
- Bazargani-Guilani, K., Nekouvaght Tak, M. A. and Faramarzi, M., 2011- Pb-Zn deposits in Cretaceous carbonate host rocks, northeast Shahmirzad, central Alborz, Iran. *Aust. J. Earth Sci*, V. 58, p. 297-307.
- Dunham, R. J., 1962- Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In Ham, W.E. (eds.), *Classification of carbonate rocks*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, V. 1. pp. 108-121.
- Ehya, F., Lotfi, M. and Rasa, I., 2010- Emarat carbonate-hosted Zn-Pb deposit, Markazi Province, Iran: A geological, mineralogical and isotopic (S, Pb) study. *Journal of Asian Earth Sciences*, V. 37, p. 186-194.
- Gadd, M., Layton-Matthews, D., Peter, J. M. and Paradis, S. J., 2016- The world-class Howard's Pass SEDEX Zn-Pb district, Selwyn Basin, Yukon. Part I: trace element compositions of pyrite record input of hydrothermal, diagenetic, and metamorphic fluids to mineralization. *Miner Deposita*, V. 51, p. 319-342.
- Goodfellow, W. D. and Lydon, J. W., 2007- Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits. In Goodfellow W. D., (eds.), *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods*. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, V. 5, p. 163-183.
- Goodfellow, W. D., Lydon, J. W. and Turner, R. J. W., 1993- Geology and genesis of stratiform sediment-hosted (SEDEX) Zn-Pb-Ag sulphide deposits, in Kirkham, R. V., Sinclair, W. D., Thorpe, R. I. and Duke, J. M., eds., *Mineral Deposit Modeling*. Geological Association of Canada, Special Paper, V. 40, p. 201-251.
- Hnatyshin, D., Creaser, R. A., Wilkinson, J. J. and Gleeson, S. A., 2015- Re-Os dating of pyrite confirms an early diagenetic onset and extended duration of mineralization in the Irish Zn-Pb ore field. *Geology* V. 43, p. 143-146.
- Kelley, K. D., Leach, D. L., Johnson, C. A., Clark, J. L., Fayek, M., Slack, J. F., Anderson, V. M., Ayuso, R. A. and Ridley, W. I., 2004- Textural, compositional, and sulfur isotope variations of sulfide minerals in the Red Dog Zn-Pb-Ag deposits, Brooks Range, Alaska: Implications for ore formation. *Econ. Geol.*, V. 99, p. 1509-1532.
- Leach, D. L., Sangster, D. F., Kelley, K. D., Large, R. R., Garven, G., Allen, C. R., Gutzmer, J. and Walters, S., 2005- Sediment-hosted lead-zinc deposits: A global perspective. *Econ. Geol.*, 100th Anniversary Volume, p. 561-607.
- Mohajjel, M. and Fergusson, C. L., 2014- Jurassic to Cenozoic tectonics of the Zagros Orogen in northwestern Iran. *International Geology Review*, V. 3, p. 263-287.

- Momenzadeh, M., 1973- Investigation of the Kolisheh Lead-Zinc prospect, Khomein area. Geological survey of Iran, p. 35.
- Momenzadeh, M., 1976- Stratabound lead-zinc ores in the lower Cretaceous and Jurassic sediments in the Malayer-Esfahan district (west Central Iran), lithology, metal content, zonation and genesis. Unpublished PhD thesis, University of Heidelberg, p.300.
- Rajabi, A., Rastad, E., Canet, C. and Alfonso, P., 2015- The early Cambrian Chahmir shale-hosted Zn-Pb deposit, Central Iran: an example of vent-proximal SEDEX mineralization. *Miner. Deposita*, DOI 10.1007/s00126-014-0556-x.
- Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C., 2012- Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn-Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration. *Int. Geol. Rev.*, V. 54, p. 1649-1672.
- Rastad, E., 1981- Geological, mineralogical, and facies investigations on the Lower Cretaceous stratabound Zn-Pb-(Ba-Cu) deposits of the IranKouh Mountain Range, Esfahan, west Central Iran. Ph.D. thesis, University of Heidelberg, 334 p.
- Seyed-Emami, K., Brants, A. and Bozorgnia, F., 1971- Contributions to the paleontology and stratigraphy of Iran. 2. Stratigraphy of the Cretaceous rocks southeast of Esfahan. Geological Survey of Iran.
- Stampfli, G. M., and Borel, G. D., 2002- A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones. *Earth and Planetary Science Letters*, V. 196, p. 17-33.
- Waasbergen, R. J. V., 1995- Sediment facies and environments of deposition on cretaceous pacific carbonate platforms: an overview of dredged rocks from western pacific guyots, *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results*, V. 143.
- Whitney, D. L. and Evans, B. W., 2010- Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist*, V. 95, p. 185-187.
- Wilkin, R. T. and Barnes, H. L., 1997- Formation processes of framboidal pyrite. *Geochim Cosmochim Acta*, V. 61, p. 323-339.
- Wilkinson, J. J. Eyre, S. L. and Boyce, A. J., 2005- Ore-Forming Processes in Irish-Type Carbonate-hosted Zn-Pb Deposits: Evidence from Mineralogy, Chemistry, and Isotopic Composition of Sulfides at the Lisheen. *Mine. Econ. Geol.*, V. 100, p. 63-86.
- Wilkinson, J. J., 2014- Sediment-hosted zinc-lead mineralization: processes and perspectives. *Treatise on Geochemistry* 2nd edition, p. 219-249.
- Yarmohammadi, A., Rastad, E. and Rajabi, A., 2016- Geochemistry, fluid inclusion study and genesis of the sediment-hosted Zn-Pb (\pm Ag \pm Cu) deposits of the Tiran basin, NW of Esfahan, Iran. *J. Min. Geochem.*, V.193/2, p. 183-203.

Mineralization horizons, structure and texture, alteration and mineralization stages in the Zn-Pb (Ba) Eastern Haft-Savaran deposit in Malayer-Esfahan metallogenic belt, south of Khomain

P. Mahmoodi¹, E. Rastad^{2*}, A. Rajabi³ and M. Moradpour⁴

¹Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

²Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³Assistant Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

⁴M.Sc., Petroleum Geology Research Group, Earth Science Division, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

Received: 2017 July 11

Accepted: 2017 December 19

Abstract

The Early Cretaceous Eastern Haft-Savaran Zn-Pb (Ba) deposit situated in the Arak mining district and occurred within the extensional back-arc of Malayer-Esfahan basin. Mineralization occurred in two horizons in the Eastern Haft-Savaran deposit. First horizon is major horizon that formed within the most upper portion of the massive limestone and second horizon occurred in the thin limestone which is alternate with shale and marl. Textures of the mineralization in this deposit are replacement, massive and vein- veinlets, and main alterations are silicification, dolomitization and calcitization. Sphalerite, galena, chalcopyrite, tetrahedryte, pyrite, bornite, chalcocite and covellite are the sulfide minerals and quartz, calcite, dolomite and sericite are gangue minerals in the ore deposit. Cathodoluminescence study in this deposit indicates three dolomites and one calcite generations. First generation of dolomite associated with weak mineralization and second generation of dolomite is Fe-rich and associated with main mineralization. Third generation of dolomite is late dolomitization and formed with calcite and cross-cutting the mineralization. Presence of framboidal pyrite with galena and sphalerite in its matrix and fine-grained euhedral barite suggest mineralization began during sedimentation and early diagenesis stage near seafloor. In continuum, main ore is identified as replacement occurrence of first generation sulfides by second generation coarse-grained sulfides under seafloor. With regarding to the formation of the Eastern Haft-Savaran deposit in the extensional tectonic setting, massive limestone as the host rock, and mineralization formation as replacement during diagenesis of the host rock under the seafloor, this deposit would be classified as Irish type deposit.

Keywords: Zn-Pb deposit; Diagenetic replacement; Irish-type; Eastern Haft-Savaran

For Persian Version see pages 3 to 12

*Corresponding author: E. Rastad; E-mail: Rastad@modares.ac.ir